

Perancangan Mixer Untuk Mobile WiMax Pada Frekuensi 2,3 GHz

Ir. Gunawan Wibisono, M.Sc, Ph.D
Dr. Purnomo Sidi Priambodo
Dr.Ir. Agus Santoso Tamsir
Prof.Dr. N. R. Poespawati
Zakiyy Amri

Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Kampus Baru UI Depok 16424 INDONESIA
Telp./Fax: 021-727-0077
Email: gunawan@eng.ui.ac.id, gunawan@ee.ui.ac.id

Perancangan Mixer Untuk Mobile WiMax Pada Frekuensi 2,3 GHz

Abstrak – Rangkaian penyusun RF WiMax terdiri atas dua bagian yaitu penerima dan pengirim. Bagian penerima dari WiMax akan menerima sinyal yang berfrekuensi 2,3 GHz, sinyal ini akan diteruskan ke baseband namun diperlukan suatu divais pentranslasi frekuensi carrier ke frekuensi carrier yang berbeda sehingga dapat diproses pada baseband. Untuk itu digunakan divais mixer yang akan mencampur frekuensi inputan dengan frekuensi local oscillator sehingga menghasilkan frekuensi yang diharapkan.

Pada penelitian ini dibahas mengenai perancangan mixer yang terdiri dari inti mixer, balun, DC bias, dan impedance matching. Hasil keluaran dari mixer ini merupakan pencampuran sinyal input dari LNA dan local oscillator yang akan menjadi inputan bagi bandpass filter. Parameter-parameter yang ditetapkan sebagai spesifikasi mixer ini adalah conversion gain, noise figure, 1 dB compression gain, dan IIP3.

Kata kunci – *mixer, mobile WiMax, Gilbert cell mixer, WiMax.*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan para pemakai jasa telekomunikasi tidak hanya pada layanan suara saja, akan tetapi komunikasi data seperti gambar dan video. Untuk memenuhi kebutuhan ini, dibutuhkan suatu teknologi yang memiliki bandwidth lebar dan bit rate yang besar sehingga komunikasi suara dan data tidak akan terganggu. Salah satu teknologi yang saat ini berkembang dan memenuhi kebutuhan tersebut ialah *WiMax*. *WiMax* (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) merupakan teknologi *wireless broadband* yang sangat cocok untuk melakukan komunikasi berupa data karena *WiMax* ini mempunyai *bandwidth* yang lebar dan *bit rate* yang besar, sehingga komunikasi suara dan data tidak akan terganggu. Standard *WiMax* ini diatur oleh standard IEEE 802.16e. Dalam sistem telekomunikasi *WiMax* akan kita temui suatu operasi pencampuran frekuensi. Hal ini dilakukan untuk mengeser sinyal informasi yang termodulasi pada sinyal pembawa frekuensi tinggi (Sinyal RF) ke sinyal pembawa frekuensi yang lebih rendah atau sebaliknya sehingga mudah diolah. Rangkaian pencampur ini dilihat dari jenis komponen pencampur yang digunakan terbagi ke dalam dua jenis yaitu aktif dan pasif.[1].

Pada penelitian ini akan dibuat suatu disain perancangan *mixer* yang akan digunakan pada sistem telekomunikasi *WiMax* dengan pita frekuensi 2,3 GHz. Perangkat lunak yang digunakan dalam perancangan ini

adalah ADS (*Advance Design System*) 2008. Masalah dibatasi pada pembahasan teori dasar pendukung perancangan *mixer* serta perancangan disain *mixer* untuk *WiMax* dengan frekuensi kerja 2,3 GHz dengan spesifikasi yang telah ditentukan

2. PERANCANGAN MIXER 2,3 GHz

Pada sistem telekomunikasi *WiMax*, bagian *radio frequency* (RF) bisa dilihat dari dua sisi yaitu RF *transmitter* dan RF *receiver*. Pada bagian RF *receiver*, sistem telekomunikasi *WiMax* disusun oleh rangkaian yang mirip dengan bagian *transmitter* diantaranya: *Low Noise Amplifier, Filter, Local Oscillator, Mixer Down converting*, dan *Automatic Gain Control*.

Bagian *mixer* pada *WiMax* berfungsi untuk mencampur dua sinyal masukan untuk menghasilkan sinyal baru dengan frekuensi yang berbeda. Pada bagian *receiver*, *mixer* yang digunakan ialah *mixer downconverting* yang memiliki inputan sinyal RF serta sinyal *local oscillator* yang akan menghasilkan sinyal *intermediate frequency*.

Mixer yang dirancang merupakan *mixer downconverting* dengan inputan berupa sinyal RF dengan frekuensi 2,3 GHz dan sinyal *Local oscillator* berfrekuensi 2,2 GHz sehingga output yang berupa sinyal IF memiliki frekuensi 100 MHz. *Mixer* yang akan dirancang ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi parameter-parameter *mixer* untuk *WiMax*

Parameter	Spesifikasi	Satuan
Frekuensi RF	2300	MHz
Frekuensi LO	2200	MHz
Frekuensi IF	100	MHz
Noise figure	<10	dB
Conversion gain	>8	dB
Impedansi sumber	50	Ohm
Impedansi Beban	50	Ohm
Voltage Supply	±2	V

Pada proses perancangan *mixer*, terdapat rangkaian-rangkaian penyusun *mixer* yang perlu diperhatikan. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.1, rangkaian tersebut dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu: Inti *mixer*, DC bias, Input dan output matching, balun input dan output

2.1 INTI MIXER

Jenis *mixer* yang dipilih ialah topologi gilbert cell *mixer* dengan memakai transistor berjenis MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor). Divais

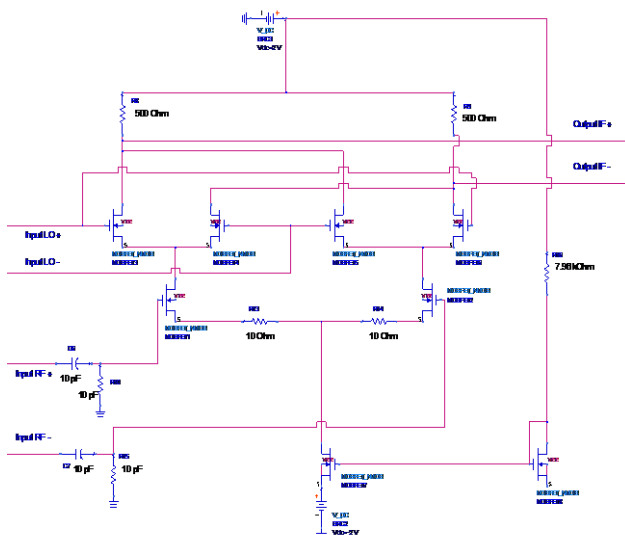
MOSFET ini dipilih karena divais ini MOSFET cocok untuk bekerja di frekuensi yang tinggi. Dengan menggunakan divais MOSFET ini, *mixer* dapat dibuat dalam bentuk yang compact atau kecil, dan memiliki *conversion gain* yang bagus.

2.1.1 Gilbert Cell Mixer

Terdapat dua tipe dari *mixer*, yaitu *mixer* pasif dan *mixer* aktif. Umumnya tipe pasif memiliki *conversion loss* yang lebih tinggi dan *noise figure* yang tinggi pula dibandingkan dengan *mixer* aktif walaupun *mixer* pasif memiliki performa IM3 yang lebih baik. Mixer yang dirancang adalah Gilbert Cell Mixer. Keuntungan mixer ini adalah menghasilkan LO dan RF rejection pada output IF dengan baik, setiap port pada *mixer* masing-masing terisolasi secara terpisah, linieritas yang lebih baik dibanding single balanced *mixer* dan penekanan pada output gangguan. Sedangkan kelemahannya adalah port-port sangat sensitif terhadap terminasi reaktif dan membutuhkan tingkat kendali LO yang lebih tinggi

2.1.2 Proses rancangan inti *mixer*

Proses perancangan inti *mixer* dimulai dengan mendisain sesuai dengan rujukan disain gilbert cell *mixer* dimana *mixer* jenis ini disusun oleh 7 buah transistor utama, 4 transistor di bagian atas merupakan transistor switching yang memiliki masukan dari *local oscillator*, 2 transistor dibagian tengah yang memiliki masukan dari radio frequency dan 1 transistor dibagian bawah yang memiliki peranan dalam DC bias. Transistor yang digunakan pada disain *mixer* ini memiliki parameter-parameter yang telah ditentukan.



Gambar 2.3 Rancangan rangkaian gilbert cell *mixer*

2.2 DC BIAS

Pada perancangan gilbert cell *mixer* ini, digunakan tiga macam tipe rangkaian DC bias. Pada transistor-transistor MOSFET yang terhubung dengan inputan dari *local oscillator* digunakan tipe rangkaian fixed bias (bias tetap). Untuk transistor-transistor yang memiliki inputan dari RF, digunakan rangkaian bias bertipe self bias (bias sendiri) sedangkan pada transistor yang berada dibawah transistor-transistor RF digunakan rangkaian DC bias aktif.

2.3 INPUT DAN OUTPUT IMPEDANCE MATCHING

Bagian penting dalam merancang disain RF ialah menyesuaikan satu bagian dari rangkaian terhadap bagian lainnya untuk menghasilkan aliran daya yang maksimal antara dua bagian tersebut. Dua bagian tersebut ialah bagian input dari rangkaian dan juga output dari rangkaian.

Untuk merancang impedance matching pada suatu rangkaian, dapat digunakan bantuan smith chart. Namun sebelum itu perlu untuk diketahui nilai dari beban pada masing-masing port seperti beban input pada *local oscillator*, beban input pada RF, dan beban output pada IF. Besarnya beban ini ditunjukkan pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Besar input dan output impedance matching sesuai frekuensi kerjanya

	Frekuensi	Besar beban (ohm)
Zin1 (LO)	2,2 GHz	2,758 – j137,027
Zin2 (RF)	2,3 GHz	27,765 – j257.431
Zout (IF)	100 MHz	758,067 – j61,570

Setelah mengetahui besarnya beban, dengan menggunakan smith chart rangkaian impedance matching dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Dengan port-port yang terhubung dengan konektor 50 ohm, diusahakan agar rangkaian impedance matching ini dapat menyesuaikan dengan besarnya beban konektor 50 ohm sehingga daya yang mengalir pada masing-masing port tidak mengalami gangguan.

Jenis impedance matching yang digunakan ialah rangkaian L yang tersusun atas satu induktor yang tersusun paralel pada salah satu bagian dan sebuah kapasitor yang dipasang seri dengan rangkaian, rangkaian ini bersifat high pass karena frekuensi pada masing-masing port yang tinggi dan selain itu dengan kapasitor yang tersusun seri dengan inputan maka kapsitor ini juga berguna sebagai penahan arus DC bias

Rangkaian impedance matching pada bagian IF digunakan tipe lowpass karena frekuensi output yang dihasilkan cukup kecil dibanding frekuensi-frekuensi inputan. Dari rangkaian-rangkaian impedance matching di atas maka didapat nilai komponen-komponen *impedance*

matching untuk masing-masing port seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.3 dan tabel 2.4.

Tabel 2.3 Nilai komponen input impedance matching

	Input impedance LO	Input impedance RF
Kapasitor seri	125,0814 fF	201,25157 fF
Induktor paralel	8,02832 nH	10,34656 nH

Tabel 2.4 Nilai komponen output impedance matching

	Output impedance IF
Induktor	200,51802 nH
Kapasitor paralel	8,04598 pF

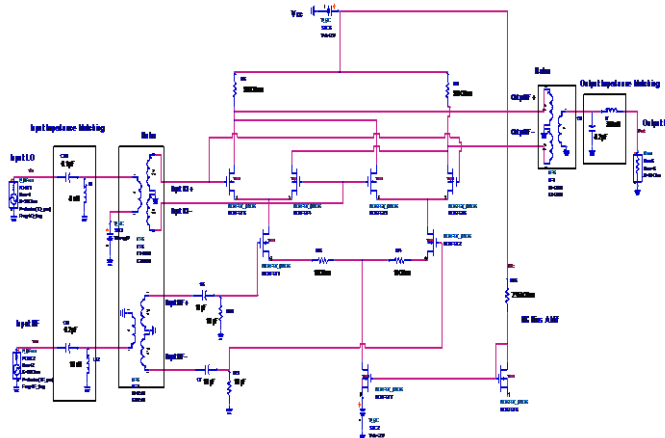
Nilai komponen-komponen di atas didapat dengan menggunakan bantuan software ADS.

2.4 BALUN

Balun, digunakan untuk mentransformasi sebuah sinyal antara mode balanced dan unbalanced, jenis rangkaian balun yang dipakai dalam perancangan *mixer* ini ialah *wire wound transformer*. Kelebihan dari jenis balun ini ialah mampu bekerja hingga di atas 2 GHz serta apabila transformer ini di-ground-kan akan memberikan short-circuit pada sinyal mode genap (mode yang umum) serta tidak memberikan efek pada sinyal mode ganjil. Salah satu kekurangan dari balun ini ialah harganya yang lebih mahal dari tipe balun-balun lain.[3]. Balun yang digunakan ini adalah balun yang terintegrasi langsung dengan software ADS sehingga menghasilkan keluaran yang ideal.

2.5 HASIL PERANCANGAN MIXER

Secara keseluruhan, perancangan *mixer* untuk sistem telekomunikasi *WiMax* 2,3 GHz ini dapat ditunjukkan pada gambar dibawah ini



Gambar 2.11 Rangkaian *mixer* untuk *WiMax* 2.3 GHz

Rangkaian ini disuplai oleh tegangan DC sebesar 2 Volt dimana selain dipakai untuk mensuplai rangkaian inti *mixer*, tegangan DC ini juga dipakai untuk mensuplai rangkaian DC bias. Pada transistor-transistor LO, gate pada

masing-masing transistor disuplai tegangan DC sebesar 1 Volt yang berbeda dengan tegangan DC rangkaian utama.

3. SIMULASI RANGKAIAN DETEKTOR FASA

3.1 SIMULASI CONVERSION GAIN DAN NOISE FIGURE

Pada awal simulasi ini parameter-parameter tetap yang digunakan ialah sebagai berikut:

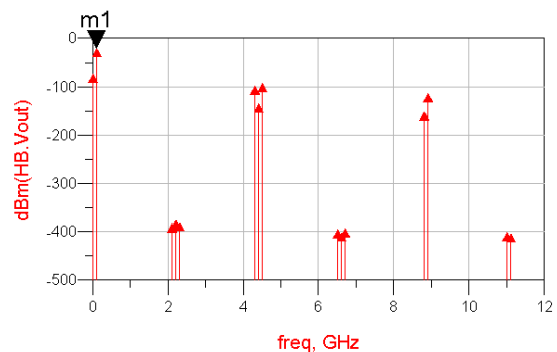
Radio frequency (RF) : 2,3 GHz
 Frekuensi *local oscillator* (LO) : 2,2 GHz
 Intermediate frequency (IF) : 100 MHz
 Daya radio frequency (RF) : -30 dBm
 Daya *local oscillator* (LO) : 5 dBm

Input yang digunakan pada awal percobaan ini berasal dari keluaran LNA dan keluaran *local oscillator*. Diasumsikan daya keluaran dari LNA adalah -30 dBm dengan frekuensi 2,3 GHz dan daya keluaran *local oscillator* sebesar 10 dBm. Dengan simulasi ini akan dilihat besarnya penguatan atau penurunan daya setelah terjadinya proses pencampuran frekuensi antara bagian LNA (RF) dan bagian *local oscillator*. Tujuan dari spesifikasi awal rangkaian *mixer* ini adalah setelah proses pencampuran frekuensi ini akan terjadi penguatan daya pada bagian intermediate frequency sekitar 8 dB. Sesuai dengan teori conversion gain bahwa

$$\text{Conversion Gain} = \text{daya IF} - \text{daya RF} \quad (3.1)$$

Hal ini berarti dengan daya inputan RF sebesar -30 dBm dan besarnya conversion gain sekitar 8dB, maka menurut perhitungan akan dihasilkan daya pada intermediate frequency sekitar -22 dBm.

m1
 freq=100.0MHz
 dBm(HB.Vout)=-20.710



Gambar 3.2 Spektrum IF dan daya yang dihasilkan pada frekuensi 100MHz

Berdasarkan hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 3.2 yang merupakan daya yang dihasilkan Vout dari bagian IF pada masing-masing frekuensinya. Pada frekuensi 100 MHz didapat daya yang dihasilkan adalah sebesar -20,71 dBm sehingga besarnya conversion gain dari rancangan *mixer* ini adalah

$$\begin{aligned} \text{Convesion gain} &= \text{daya IF} - \text{daya RF} \\ &= -20,71 - (-30) = 9,29 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dengan besarnya conversion gain 9,29 dB, rancangan *mixer* ini dapat menghasilkan conversion gain di atas spesifikasi yang diinginkan yaitu lebih besar dari 8 dB. Berdasarkan simulasi dapat dilihat juga besarnya noise figure yang terjadi pada rancangan rangkaian *mixer* ini seperti ditunjukkan pada tabel hasil simulasi di bawah ini

Tabel 3.1 Noise figure pada rancangan *mixer*

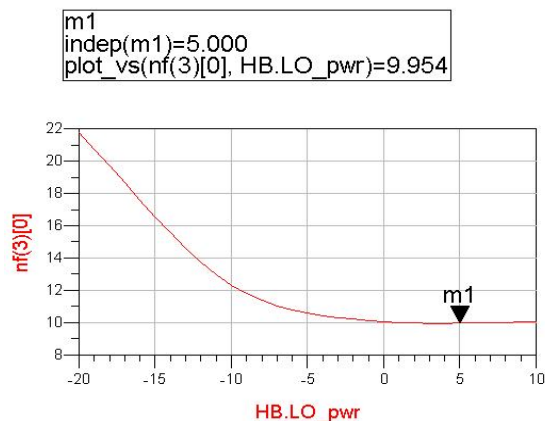
noisefreq	NFdsb	NFssb
100.0 MHz	4.617	7.681

Noise figure yang didapat pada hasil simulasi dibagi menjadi 2, yaitu noise figure single side band (NFssb) dan noise figure double side band (NFdsb). Noise figure merupakan perbandingan antara SNR (signal to noise ration) pada input dengan NSR output, besarnya NFdsb lebih jelek sekitar 3 dB dari NFssb dikarenakan pada NFdsb dihitung selain carrier pada IF juga dihitung carrier dari *image frequency*.

Berdasarkan hasil simulasi NFdsb ini bernilai 4,617 dB lebih jelek sekitar 3 dB dari NFssb yang bernilai 7,681 dB. Berdasarkan spesifikasi yang ingin dicapai bahwa noise figure yang menjadi pertimbangan adalah NFdsb dengan nilai kurang dari 10 dB maka NFdsb rancangan *mixer* ini yang bernilai 4,617 dB ini sudah melebihi spesifikasi yang diinginkan.

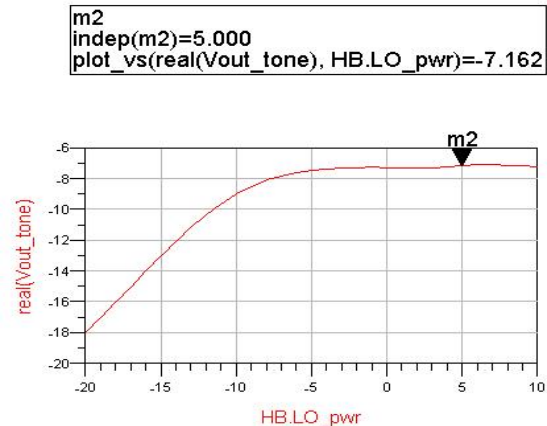
3.3 SIMULASI PENGARUH PERUBAHAN

Pada simulasi ke dua ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan daya pada *local oscillator* terhadap noise figure rangkaian *mixer* serta pengaruh pada besarnya gain yang akan dihasilkan rangkaian *mixer* ketika perubahan daya yang terjadi pada *local oscillator*. Dengan ini maka akan diketahui besarnya daya optimal *local oscillator* yang dapat diberikan ke rangkaian *mixer*. Dengan simulasi ini, besarnya daya *local oscillator* divariasikan dari -20 dBm hingga 10 dBm dengan tingkat perubahan daya sebesar 1 dBm sehingga dengan variasi daya input *local oscillator* ini akan dilihat pengaruh perubahan daya tersebut terhadap gain serta noise figure rancangan *mixer*.



Gambar 3.3 Grafik daya LO vs NF

Pada hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar 3.3 dan gambar 3.4 terlihat bahwa ketika terjadi perubahan daya *local oscillator* baik noise figure maupun gain rangkaian *mixer* akan mengalami perubahan. Dengan semakin besarnya daya *local oscillator* noise figure akan semakin menurun seperti terlihat pada grafik namun ketika daya *local oscillator* lebih besar dari 0 dBm, noise figure yang dihasilkan relatif stabil.



Gambar 3.4 Grafik daya LO vs gain

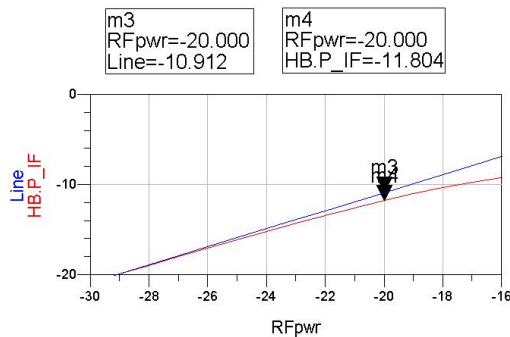
Gambar 3.4 menunjukkan pengaruh kenaikan daya *local oscillator* terhadap *Vout_tone* yang merepresentasikan gain yang dihasilkan ketika perubahan daya *local oscillator* terjadi. Besarnya daya *local oscillator* yang optimal untuk menghasilkan gain yang baik berkisar dari -2 dBm hingga 7 dBm artinya untuk menghasilkan gain *mixer* yang optimal maka daya keluaran *local oscillator* yang merupakan input bagi *mixer* ini diusahakan berada pada kisaran tersebut.

3.4 SIMULASI PENGARUH PERUBAHAN DAYA INPUT RADIO FREQUENCY TERHADAP COMPRESSION GAIN

Simulasi ke tiga ini memiliki tujuan untuk mengetahui karakteristik gain compression pada *mixer* perubahan gain pada *mixer* terhadap variasi daya pada radio frequency yang merupakan hasil dari penguatan pada bagian LNA. Compression gain ini terjadi ketika gain yang dihasilkan oleh *mixer* ini bertambah 1dB gain.

Daya pada bagian RF akan divariasikan besarnya mulai dari -30 dbm hingga 10 dbm dengan perubahan 1 dbm sehingga dapat dilihat karakteristik gain compression dari rancangan rangkaian *mixer* ini. Pada Gambar 3.5, ketika daya masukan RF sebesar -20 dbm, line yang merepresentasikan output daya keluaran *mixer* dengan suatu gain yang tetap ini bernilai -10.912 dbm (tanda m3). Namun daya output yang sebenarnya keluar dari *mixer* telah turun sekitar 1 dB yaitu -11.804 dbm (tanda m4). Hal ini terjadi dikarenakan pada *mixer* terjadi saturasi sehingga gain yang dihasilkan pada *mixer* tidak maksimal dan tidak lagi linier.

Ketika terjadinya penurunan 1 dB inilah yang dinamakan titik compression gain.



Gambar 3.5 Compression gain

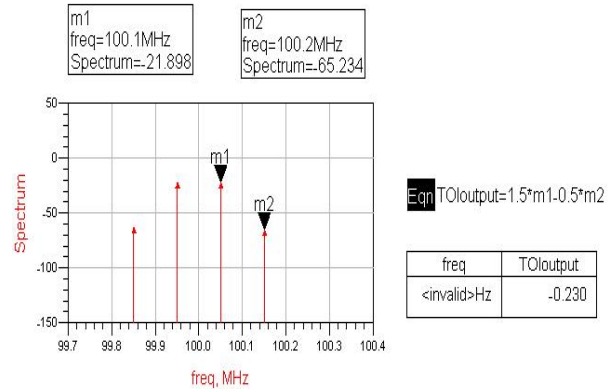
Dengan menggunakan simulasi, dapat diketahui pada daya input berapa gain compression akan terjadi serta berapa daya output yang dihasilkan. Gain compression pada rangkaian akan terjadi ketika daya masukan RF (inpwr) bernilai -19.356 dbm dengan daya output yang dihasilkan adalah -11.268 dbm. Nilai daya input dan output ketika gain compression ini terjadi mirip dengan nilai daya input dan output yang ditunjukkan pada gambar 3.6 dimana sesuai gambar 3.6 gain compression terjadi ketika daya input RF -20 dbm dan daya output sebesar -11.804 dbm. Dengan ini, ketika daya input RF telah melebihi titik gain compression, daya output yang dikeluarkan hanya akan mengalami sedikit karena gain yang dihasilkan tidak akan linier sebab *mixer* telah dalam kondisi saturasi.

3.5 SIMULASI INPUT INTERCEPT POINT ORDE 3

Simulasi ke empat ini dilakukan untuk mengetahui input intercept point orde 3 dari rancangan *mixer* ini. Tegangan bias transistor-transistor MOSFET pada bagian switching (LO) diberi nilai sebesar 0.7 volt selain itu arus bias pada rangkaian inti *mixer* ini juga dinaikkan menjadi sekitar 9 mA agar memberikan linieritas yang lebih baik untuk rangkaian *mixer*.

Untuk menaikkan arus bias ini dilakukan dengan menurunkan nilai resistor dari 8 kOhm menjadi 3.7 kOhm pada rangkaian DC bias aktif sehingga dapat memberikan nilai arus yang diinginkan.

TOIoutput merupakan intermodulation output orde 3 dari rangkaian *mixer*. Hasil TOI ini didapatkan dengan menggunakan rumus manual untuk mencari TOI dari rangkaian *mixer*, besar dari TOI ini adalah -0.23 dbm. Dengan menggunakan simulasi secara otomatis bisa didapatkan output dari TOI rangkaian *mixer* ini. Output TOI atau output IM3 ini didapat sebesar -0.23 dbm sama seperti dengan menghitung secara manual. Pada simulasi ini, Conversion gain yang terjadi dengan parameter-parameter tetap seperti disebutkan sebelumnya didapat senilai 8.102 dB.



Gambar 3.7 Spektrum sekitar frekuensi IF

Input IM3 merupakan parameter yang digunakan sebagai spesifikasi dari rangkaian *mixer*. Idealnya, input IM3 yang terjadi adalah sekitar 10 dB lebih besar di atas nilai gain compression. Jadi, dengan menggunakan nilai gain compression dari simulasi sebelumnya seharusnya input IM3 ini berada pada kisaran -1.804 dbm (~10 dB + -11.804 dbm). Namun pada rangkaian, input IM3 ini bernilai -8.332 dbm, hal ini terjadi disebabkan adanya loss pada rangkaian impedance matching yang membuat input IM3 ini belum memenuhi keidealan input IM3 yang seharusnya.

Kesimpulan

- Gain yang dihasilkan oleh rancangan mixer ini adalah 9,29 dB dengan noise figure DSB sebesar 4,617 dB
- Mixer ini memiliki kinerja yang baik ketika daya local oscillator berada antara -5 hingga 10 dBm
- Mixer yang dirancang memiliki linieritas yang kurang baik, hal ini disebabkan loss yang terjadi pada output matching
- DC bias merupakan rangkaian yang dirancang untuk menjaga kestabilan dari transistor-transistor pada rangkaian inti mixer.
- Balun jenis wire wound transformer dipilih untuk mentransformasikan sinyal balanced dengan unbalanced karena mampu bekerja hingga frekuensi di atas 2 GHz

DAFTAR ACUAN

- [1] Pozar, David.M., "Microwave and RF Wireless Systems", John Wiley & Sons, Inc., USA, 2001.
- [2] J P Silver, "Gilbert Cell Mixer Design Tutorial", www.rfic.co.uk
- [3] Liam Devlin, "Mixers" Pletex Communication Technology Consultants, Essex